干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

近20 a新疆南部植被覆盖度时空特征及对气候因素的响应
——以塔什库尔干塔吉克自治县为例

刘玉婷[1]， 张齐飞[2,3]， 刘景时[1,4]， 关含笑[1]， 孟凡雪[5]

（1. 喀什大学生命与地理科学学院/新疆维吾尔自治区帕米尔高原生物资源与生态重点实验室，新疆 喀什 844000；2. 山西师范大学地理科学学院，山西 太原 030000；3. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011；4. 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101；5. 喀什地区气象局，新疆 喀什 844000）

摘 要：植被覆盖度是反映生态环境质量的评价指标，掌握植被覆盖度的变化有助于实现生态文明建设与区域农牧业规划及生态环境保护。基于2001—2020年归一化植被指数（Normalization difference vegetation index，NDVI），以耕地、林地、草地植被类型为研究对象，采用混合像元二分模型计算植被覆盖度，应用空间稳定性分析、Sen+Mann-Kendall空间趋势分析、线性回归等方法，分析塔什库尔干塔吉克自治县植被覆盖度的时空特征；同时，结合气温、降水量数据，利用Spearman相关分析、GIS空间分析等方法，分析气候因素对植被覆盖度的影响。结果表明：（1）近20 a植被覆盖度以中植被覆盖区为主，植被覆盖度减小了4.79%。（2）植被覆盖度的空间稳定性波动较小，以波动变化（37.3%）、中等波动变化（32.7%）为主；植被覆盖度呈显著减少和不显著减少面积分别占总面积的3.8%、54.5%。（3）耕地、林地、草地植被状况均呈现不同程度的轻微退化，在植被覆盖度上分别减少了4.57%、6.32%、4.24%，在空间稳定性上，不显著减少分别为51.28%、54.48%、52.29%。（4）2001—2020年耕地比林地、草地空间稳定性和退化程度更为稳定和缓慢，林地退化比耕地、草地严重。研究区植被覆盖度变化较小，呈微弱下降趋势，人类活动是影响植被生长的主要因素。

关 键 词：像元二分模型；植被覆盖度；Sen+Mann-Kendall；空间稳定性；气候因素

文章编号：

植被在陆地生态系统中扮演着必不可少的角色，在防止水土流失、生态风险评估及维持生态平衡等方面具有重要作用[1]。植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计总面积的百分比[2]。植被覆盖度，可作为重要参数来评价区域生态系统的安全性、环境优劣及稳定性等，在反映生态环境的健康程度、监测生态系统变化等方面发挥重要的作用，作为描述生态系统的重要基础数据，被广泛应用于气候、生态、水文等研究领域[3-5]。

归一化植被指数（Normalization difference vegetation index，NDVI）作为植被覆盖度的主要数据源之一，主要被用于探究长时间序列植被覆盖变化及其对气候变化的响应，是反映植被生长状况的指数[6-7]。利用卫星遥感计算的NDVI是计算地表植被覆盖变化的重要手段，也是目前研究的热点领域[8-9]。监测植被覆盖时空变化对区域生态系统稳定及优化都有着十分重要的意义[10-11]。为了定量评估植被覆盖的时空特征及其对气候的响应，国内外学者分别利用MODIS、GIMMS、Landsat等数据对新疆地区植被覆盖变化开展了一系列研究。曹永香

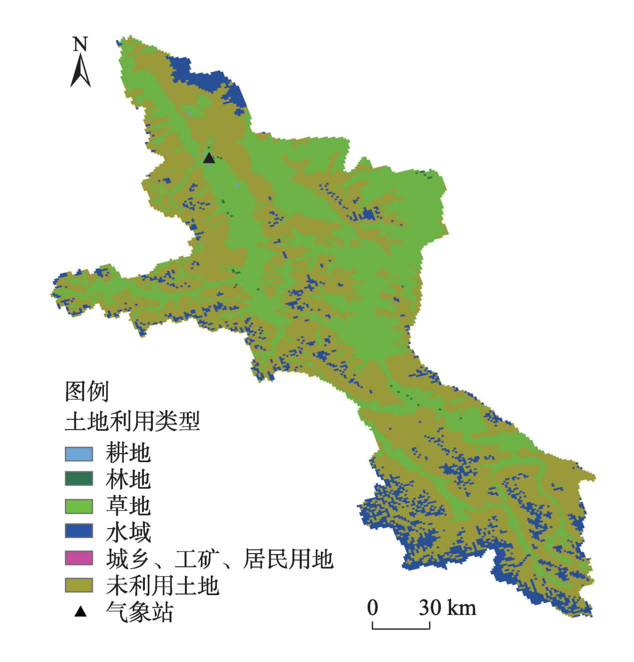
收稿日期：2021-12-06； **修订日期：**2022-01-11
基金项目：新疆自治区高校科研计划项目（XJEDU2020Y035）；喀什大学高层次人才培养项目（GCC18ZK-008）；喀什大学校内课题（19(2643)）资助
作者简介：刘玉婷（1986-），女，博士，讲师，主要从事资源利用与生态安全研究. E-mail: xiaoxiao861211@163.com
通讯作者：刘景时（1961-），男，博士，教授，主要从事寒区水文水资源研究. E-mail: 550648120@qq.com

等[12]基于MODIS数据对新疆策勒绿洲-沙漠过渡带的植被覆盖时空变化及影响因素进行了分析，发现人类活动是植被覆盖变化的主导因素；Liu等[13]应用GIMMS-NDVI3g数据研究了新疆"山地-绿洲-荒漠"植被覆盖时空特征、变化趋势及植被覆盖对气候的响应程度；庞冉等[14]研究了2000—2017年新疆吐鲁番盆地植被覆盖时空变化特征及水热组合影响，分析得知水分条件是大部分地区植被生长的主要限制因素，且热量增加有利于植被生长。

目前，新疆植被覆盖度遥感估算的研究，大部分是市级、省级等较大的研究范围，对于县级的长时序植被覆盖度的时空变化研究尚不多见。植被覆盖度变化均从整体角度出发，而将具有重要生态意义的植被类型的覆盖度变化忽略，未能进一步的解析不同植被类型的覆盖度变化及其对气候因素的响应。因此，本文以塔什库尔干塔吉克自治县（简称塔县）为研究区，以耕地、草地、林地不同植被类型为研究对象，基于NDVI指数，利用混合像元二分模型构建植被覆盖度影像数据，并应用空间稳定性分析、Sen+Mann-Kendall空间趋势分析、线性回归、Spearman相关分析等方法，探讨植被的动态规律与趋势变化及其对气候变化的响应，以为区域的生态环境维护、生态管理、区域政策制定提供数据支持。

1 研究区概况

塔县（35°37′~38°40′N，71°23′~77°01′E）位于新疆南部，具有"一县邻三国，两口通两亚，两路连东西"的独特区位优势；面积约为2.5×10⁴ km²，占新疆面积的3.3%；地处帕米尔高原东麓，平均海拔4000 m以上，冰川资源丰富，冰川面积约为2.3×10³ km²，海拔5000 m以上的山峰均终年积雪，南有海拔8611 m的世界第二高峰——乔戈里峰，北有海拔7546 m的"冰山之父"——慕士塔格冰峰。其气候属寒温带极干旱荒漠气候，并具有大陆性高原山地干旱气候特征，年均温度3.3 ℃，年均降水量69 mm[15]。研究区概况如图1所示。



注：该图基于新疆自然资源厅标准地图服务网站下载的审图号为新S(2020)130号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

NDVI来源于美国航空航天宇航局（https://lpdaac.usgs.gov/）MOD13Q1数据产品，16 d时间分辨率、250 m空间分辨率，时间跨度2001—2020年。利用最大值合成法（Maximum value composite, MVC）计算NDVI月值，MVC方法可以有效地减少来自外界环境要素的影响，如云阴影、气溶胶、太阳高度角等。气温、降水量数据来源于气象数据网（http://data.cma.cn/）的新疆境内的41个气象站点，采用反距离权重法（IDW）进行空间插值，生成与NDVI具有相同空间分辨率的栅格数据[16]。2000、2005、2010、2015年和2020年土地利用数据，30 m空间分辨率，来源于中国科学院资源环境科学数据中心（http://www.resdc.cn）。

2.2 研究方法

2.2.1 植被覆盖度 植被覆盖度的计算是依据混合像元二分模型，该模型假设每个像元由土壤、植被两部分组成，具体公式如下[6]：

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_V - NDVI_S} \tag{1}$$

式中：FVC为植被覆盖度；NDVI为归一化植被指数；$NDVI_V$为完全被植被覆盖像元的NDVI值；$NDVI_S$为土壤像元或无植被覆盖像元的NDVI值。依据研究区植被特点与《生态环境状况评价技术规范》，划分为高植被覆盖区（≥50%）、中植被覆盖区（20%~50%）、低植被覆盖区（5%~20%）和裸地（<5%）[6]。

2.2.2 Sen+Mann-Kendall趋势分析 Sen+Mann-Kendall方法是同时结合了Sen趋势度计算与Mann-Kendall检验,该方法可以增强长时序趋势分析抗噪性,提高检验结果准确性[17]。

Sen趋势度计算公式如下:

$$\beta = \mathrm{Median}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right), \forall j > i \quad (2)$$

式中:β为FVC变化趋势;Median为中值函数;x_j、x_i为FVC中的序列数据;i、j为不同时间序列长度。若$\beta<0$时,时间序列呈下降趋势;反之为上升趋势。

Mann-Kendall方法为一种非参数统计检验方法,该方法进行FVC序列趋势检验,其统计检验方法如下:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\mathrm{Var}(s)}} & (s>0) \\ 0 & (s=0) \\ \frac{s+1}{\sqrt{\mathrm{Var}(s)}} & (s<0) \end{cases} \quad (3)$$

$$s = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sign}(x_j - x_i) \quad (4)$$

$$\mathrm{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & (\theta>0) \\ 0 & (\theta=0) \\ -1 & (\theta<0) \end{cases} \quad (5)$$

式中:Z为标准化后的检验统计量;s为检验统计量;Var为计算方差函数;n为FVC中的序列样本数;sign为符号函数;θ为x_j与x_i的差值。当$n\geqslant10$时,s近似为正态分布,其方差计算公式如下:

$$\mathrm{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

标准化后的Z为标准正态分布,若$|Z|>Z_{1-a/2}$,表明存在显著的趋势变化。$Z_{1-a/2}$是在置信度水平a下,标准正态函数对应的值。

2.2.3 变异系数 以像元为单位,利用变异系数法计算FVC年值的波动变化规律[18],计算公式如下:

$$C_{\mathrm{vFVC}} = \frac{\delta_{\mathrm{FVC}}}{\overline{\mathrm{FVC}}} \quad (7)$$

式中:C_{vFVC}、δ_{FVC}、$\overline{\mathrm{FVC}}$分别为FVC的变异系数、标准差及平均值。C_{vFVC}值越小,FVC值分布较紧凑,时间序列内数据较稳定;否则,不稳定。

2.2.4 相关分析 采用相关分析法[19]研究植被时空变化对气候的响应程度,通过计算月值FVC和月降水量、月平均气温的相关系数,分析植被与气候因子的空间关系。相关系数具体计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

式中:r_{xy}为变量x与y之间的相关系数;$\bar{x}$为月FVC的平均值,x_i为FVC中的序列数据;n为FVC中的序列样本数;$\bar{y}$为月气温或月降水量的平均值;y_i为月气温或月降水量中的序列数据;i为时间序列长度。

2.2.5 一元线性回归法 线性回归分析是一种重要的方法,用于研究多个变量之间的统计关系和植被长时序变化趋势[20]。用数学模型,构建x与y的公式,如下:

$$y = ax + b + \varepsilon \quad (9)$$

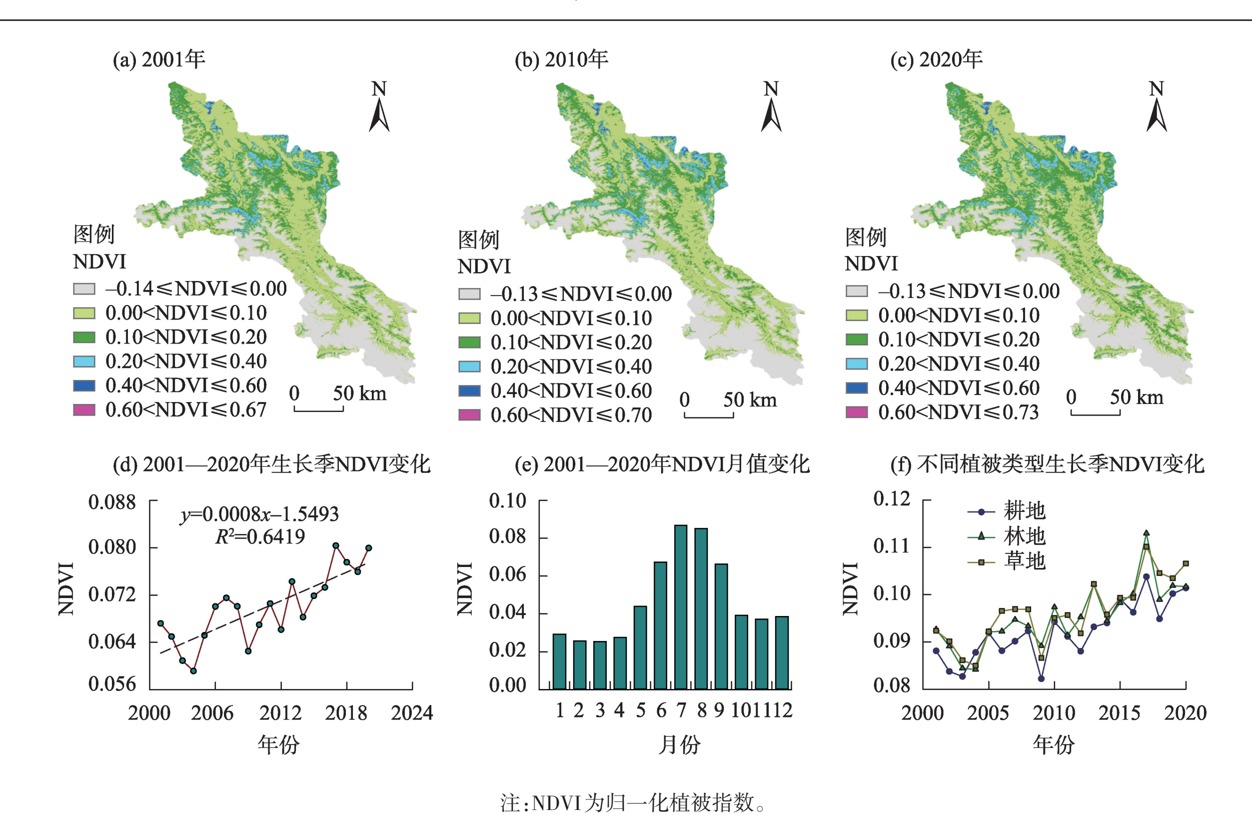
式中:y为FVC因变量;a、b为未知常数;x为时间自变量;ε为随机误差。

3 结果与分析

3.1 NDVI时空变化特征

2001—2020年月NDVI年内变化趋势较明显(图2e),NDVI在0.025~0.087之间波动,5月NDVI开始较快上升,一年中尤其以5—6月增幅最为明显,在7月达到最大值(0.087),此后到10月迅速下降,保持在较低值。总的来看,5—9月是植被生长的旺盛时段。生长季NDVI(图2d)从2001年的0.0672增大到2020年的0.0799,增加速率为0.0008·a^{-1}(R^2=0.64)。但20 a间存在明显的阶段性变化,2004年NDVI达到最低值后波动性上升,其中2009—2020年增加速率较2001—2020年快,为0.0014·a^{-1}(R^2=0.7702)。从2001、2010年和2020年生长季NDVI空间分布可以看出,2010年较2001年NDVI减小,NDVI下降了0.30%,2020年较2001年和2010年NDVI增大,分别增加了18.90%、19.25%(图2a~c)。

依据2000年土地利用类型数据,将植被划分为耕地、草地、林地。其中,草地面积占比最高,占整个区域的36.56%,耕地与林地较少,分别仅为0.02%、0.14%。虽面积差异较大,但不同植被类型的NDVI趋势波动较为一致(图2f),过程存在轻微差异。其中,2001—2020年林地、草地的NDVI以0.0009·a^{-1}的速率增加,耕地NDVI增加速率相对林地、草地缓慢,为0.008·a^{-1}。因植被类型不同,20 a间NDVI也有所差异。NDVI最大值出现在2017年



注:NDVI为归一化植被指数。

图2 2001—2020年塔什库尔干塔吉克自治县生长季NDVI变化

Fig. 2 Changes of normalized difference vegetation index (NDVI) in Taxkorgan Tajik Autonomous County during 2001—2020

的林地(0.113),最小值出现在2009年的耕地(0.082)。

3.2 植被覆盖度时空变化特征

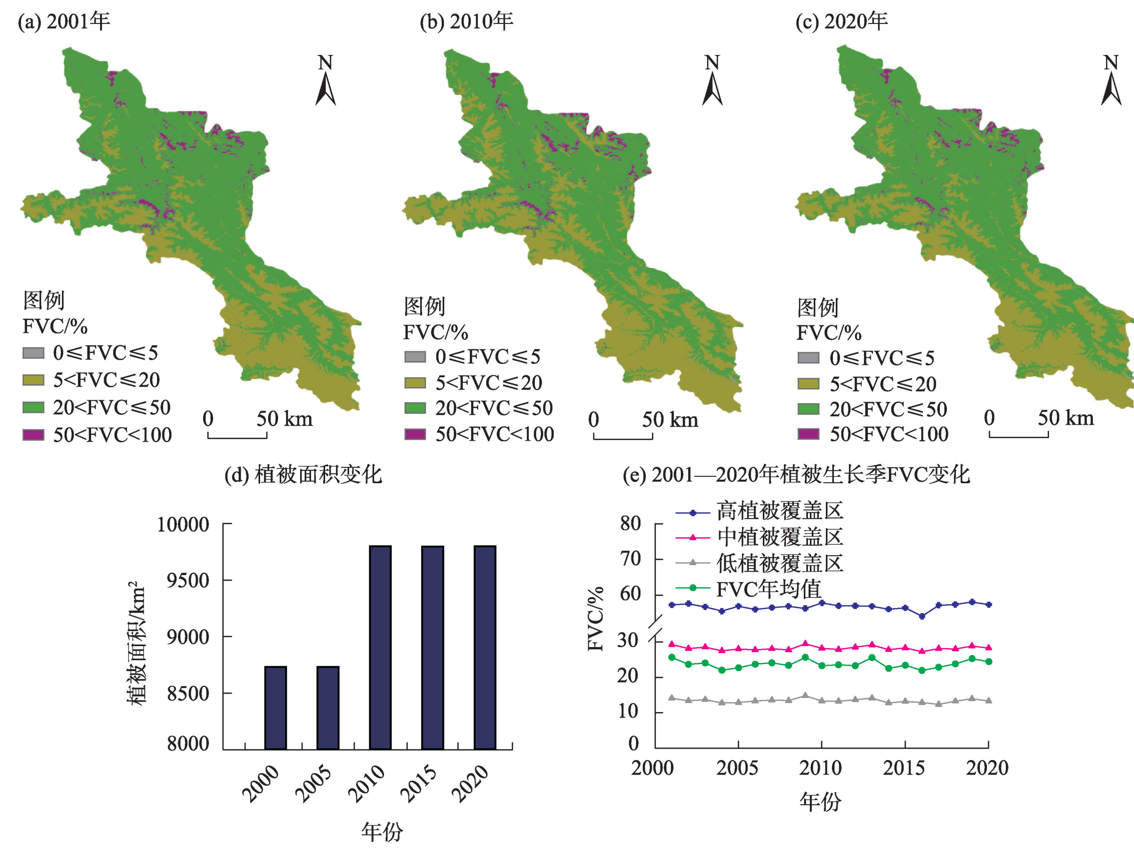
本文利用生长季MODIS NDVI计算塔县植被覆盖时空变化,如图3所示,近20 a植被覆盖度减小了4.79%。由图可知,不同等级植被覆盖区面积存在差异,中植被覆盖区占主要份额,占比超过65%,低植被覆盖区次之,占总面积的29.8%,而高植被覆盖区仅占3.1%。近20 a不同等级植被覆盖区时空特征不同(图3e),高植被覆盖区的时空变化与NDVI类似,而与中植被覆盖区、低植被覆盖区存在差异,高植被覆盖区植被覆盖度以0.0035·a^{-1}的速率改善,而中植被覆盖区、低植被覆盖区分别以0.0056·a^{-1}、0.0183·a^{-1}的退化趋势变化。

为进一步掌握研究区植被的空间特征,我们分析了植被覆盖度的空间稳定性(图4a)、空间趋势(图4b)。计算研究区植被覆盖度的变异系数,分析植被覆盖度的空间稳定性,将稳定性划分为5个等级[11]。植被覆盖度的各空间稳定性面积占总面积比例分别为相对较低的波动变化(37.3%)、中等波动变化(32.7%)、低波动变化(12.8%)、相对较高的波动变化(12.0%)、高波动变化(5.2%),其中低波动变化、相对较低的波动变化主要集中在高植被覆盖区、中植被覆盖区,中等波动变化主要分布在低植被覆盖区,而高波动变化多发生在低植被覆盖区与中植被覆盖区交界处。利用Sen+Mann-Kendall分析植被覆盖区的空间趋势,结果显示研究区生态环境轻微的退化,植被覆盖度显著减少面积占总面积的3.8%,不显著减少面积占总面积的54.5%。

对不同植被类型植被覆盖度进行时空分析,近20 a耕地、林地、草地植被状况均呈现不同程度的轻微退化,与NDVI变化不一致(表1)。本区域NDVI偏低,利用混合像元二分模型计算的覆盖度与土地利用数据,具有较好的一致性。在植被覆盖度上,耕地、林地、草地分别减少了4.57%、6.32%、4.24%,在空间稳定性上,不显著减少分别为51.28%、54.48%、52.29%。2001—2020年耕地比林地、草地空间稳定性和退化程度更为稳定和缓慢,林地退化比耕地、草地严重。

3.3 气温、降水量对植被覆盖度的影响

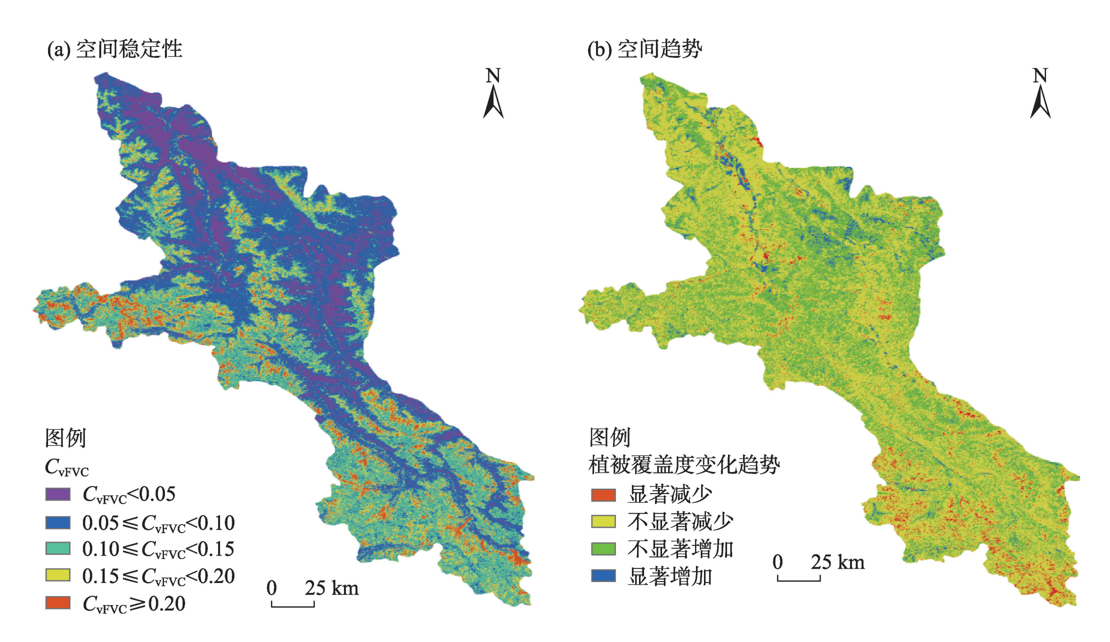
气候改变是引发一个地区植被变化的原因之一,而降水和气温是气候变化最直接和敏感的因素。以近20 a生长季植被覆盖度与月降水量、月平均气温进行Spearman相关性分析,研究植被覆盖度



注：FVC为植被覆盖度。

图3 2001—2020年塔什库尔干塔吉克自治县FVC变化

Fig. 3 Changes of fractional vegetation coverage (FVC) in Taxkorgan Tajik Autonomous County during 2001—2020



注：C_{vFVC}为植被覆盖度的变异系数。

图4 2001—2020年塔什库尔干塔吉克自治县植被覆盖度空间稳定性及空间趋势变化

Fig. 4 Spatial stability and spatial trend of fractional vegetation coverage in Taxkorgan Tajik Autonomous County during 2001—2020

表1 不同植被类型植被覆盖度时空变化统计

Tab. 1 Statistics of temporal and spatial changes of fractional vegetation coverage of different vegetation types

植被类型	植被面积/km²		植被覆盖度/%		C_{vFVC}/%					植被覆盖度变化趋势/%			
	2001年	2020年	2001年	2020年	$C_{vFVC}\geq 0.20$	$0.15\leq C_{vFVC}<0.20$	$0.10\leq C_{vFVC}<0.15$	$0.05\leq C_{vFVC}<0.10$	$C_{vFVC}<0.05$	显著减少	不显著减少	不显著增加	显著增加
耕地	4.95	80.15	28.24	26.95	3.85	7.69	11.54	34.62	42.31	0.00	51.28	48.72	0.00
林地	33.00	32.31	28.80	26.98	3.92	7.28	17.16	45.71	25.93	2.61	54.48	40.11	2.80
草地	8695.01	9685.11	28.77	27.55	3.91	9.47	24.91	42.27	16.45	2.91	52.29	41.79	3.01

注：C_{vFVC}为植被覆盖度的变异系数。

对气候因子的响应程度(图5),结果显示,降水量对研究区大部分区域无影响,仅在部分区域与植被覆盖度有着弱正相关关系,仅占总面积的2.92%。研究区常年干旱少雨,近20 a塔县气象站的月均值降水量仅为7.3 mm,对植被的影响非常有限。气温对研究区植被覆盖度的相关系数介于-0.40~0.41之间,影响存在弱正负相关关系,占比分别为0.18%、1.91%。研究区冰川资源丰富,高山常年积雪,温度升高促进冰川积雪融化,在部分区域能够对植被提供灌溉水资源。同时,温度升高,蒸散发增大,抑制植物生长。

4 讨论

已有众多学者研究干旱区植被覆盖度变化的影响因素,发现不同区域影响因素存在较大差异[4]。孙帆等[21]认为干旱区程度增强、地下水位下降及耕地扩张,都是导致塔里木盆地荒漠-绿洲过渡带植被覆盖度下降的因素。李梓钰等[22]认为骆驼刺保护区建立对吐鲁番骆驼刺保护区的植被覆盖度的上升具有一定的促进作用。研究区降水量极少,导致降水量对植被覆盖度的影响非常有限,植被的水分主要来源于冰川积雪融水形成的地下径流和地表径流[23]。温度升高增加冰川融化,给植被提供水资源,同时,温度升高,蒸散发加剧,不利植被生长[24]。相关研究表明,在干旱区气温相对于降水量,主要发挥调整植被的年内生长规律的作用[22]。

本研究植被覆盖度变化以略微下降为主,植被退化区域略大于改善区域。政府虽制定有力的生态措施,增加草地面积,但区域畜牧业总体上还是以粗放生产为主,在发展畜牧养殖业过程中,更多是追求数量的增长及产业规模的扩大,这造成草畜矛盾较为突出[25]。区域旅游业的迅猛发展,游客人数的增加,建设用地的面积不断增加,导致植被覆

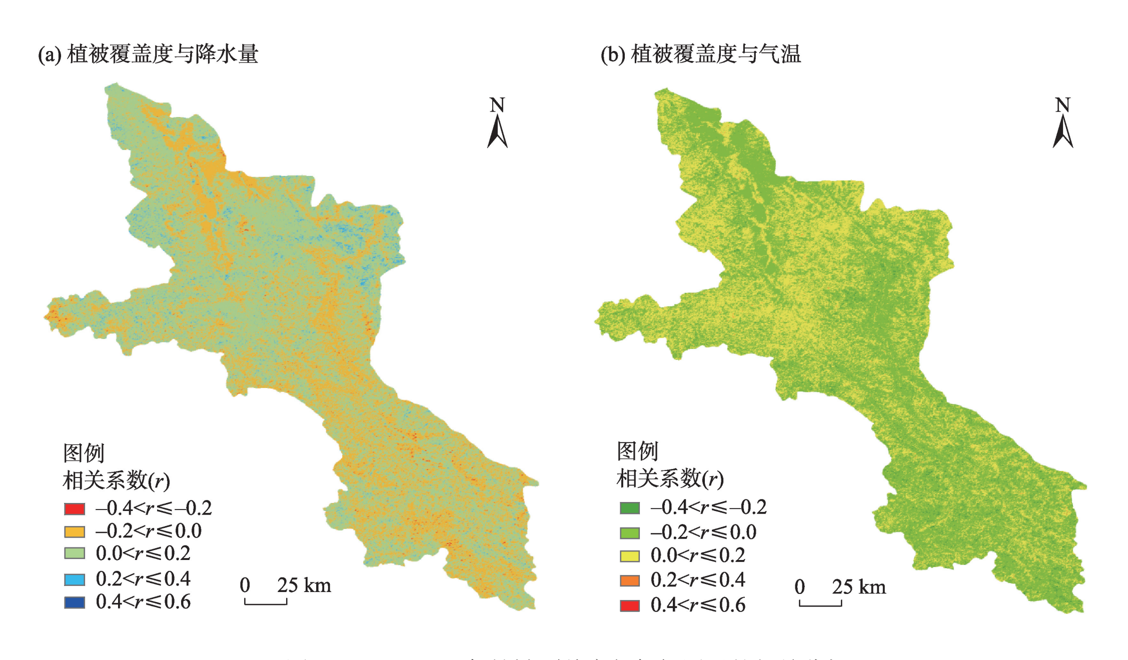


图5 2001—2020年植被覆盖度与气候因子的相关分析

Fig. 5 Spearman correlation analysis between fractional vegetation coverage and climate factors during 2001—2020

盖度下降。另外相关研究也表明人口的不断增多、经济发展的需要和城市化进程的加快，也加剧了对区域中自然资源和环境的侵占和压力[26]。本文探讨了植被覆盖度时空特征，及其与气温、降水量的相关性，虽具有一定的科学意义及为生态环境建设提供建议的参考价值，但是也存在一定的不足之处。气候变化和人类活动是植被覆盖变化的主要影响因素，但本研究侧重于讨论气候变化对植被覆盖的影响。另有研究表明，地下水、地形、土壤湿度、温度及养分等对植被覆盖度的影响已不容忽视[27-28]。

5 结 论

本文基于MODIS NDVI数据、气温和降水量数据，采用混合像元二分模型、线性趋势分析、变异系数、Sen+Mann-Kendall趋势分析、相关分析等方法，分析了近20 a塔县植被覆盖度时空变化格局，并探讨了其对气温、降水量的响应，得到如下结论：

（1）近20 a植被覆盖度减小了4.79%，研究区中植被覆盖区占主要份额，中植被覆盖区、低植被覆盖区分别以0.0056·a^{-1}、0.0183·a^{-1}的退化趋势变化，高植被覆盖区植被覆盖度以0.0035·a^{-1}的速率改善。

（2）区域植被覆盖度的空间稳定性以相对较低的波动变化、中等波动变化为主，占比分别为37.3%、32.7%。相对较低的波动变化主要集中在高植被覆盖区、中植被覆盖区，中等波动变化主要分布在低植被覆盖区，而高波动变化多发生在低植被覆盖区与中植被覆盖区交界处。

（3）区域植被覆盖度的空间趋势呈现轻微退化的趋势，其中显著减少面积占总面积的3.8%，不显著减少面积占总面积的54.5%。

（4）耕地、林地、草地植被覆盖度上分别减少了4.57%、6.32%、4.24%，在空间稳定性上，不显著减少分别为51.28%、54.48%、52.29%。耕地比林地、草地空间稳定性和退化程度更为稳定和缓慢，林地退化比耕地、草地严重。

参考文献（References）

[1] 赵茂盛, 符淙斌, 延晓冬, 等. 应用遥感数据研究中国植被生态系统与气候的关系[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 287-296. [Zhao Maosheng, Fu Congbin, Yan Xiaodong, et al. Study on the relationship between different ecosystems and climate in China using NOAA /AVHRR data[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(3): 287-296.]

[2] 汪明冲, 王兮之, 梁钊雄, 等. 喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3435-3443. [Wang Mingchong, Wang Xizhi, Liang Zhaoxiong, et al. Landscape pattern analysis on change of fractional vegetation cover between karst and no-karst areas: A case study in Hechi District, Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3435-3443.]

[3] Liu H, Li X J, Mao F J, et al. Spatiotemporal evolution of fractional vegetation cover and its response to climate change based on MODIS data in the subtropical region of China[J]. Remote Sensing, 2021, 13(5): 913, doi: 10.3390/rs13050913.

[4] 高鹏文, 阿里木江·卡斯木, 赵永玉, 等. 1988—2018年哈密绿洲植被覆盖度时空变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 273-280. [Gao Pengwen, Kasim Alimuijiang, Zhao Yongyu, et al. Spatial and temporal changes and driving forces of vegetation coverage in Hami Oasis during 1988—2018[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(6): 273-280.]

[5] 白慧敏, 龚志强, 孙桂全, 等. 气象要素对华北地区夏季植被覆盖度的影响[J]. 大气科学, 2022, 46(1): 27-39. [Bai Huimin, Gong Zhiqiang, Sun Guiquan, et al. Influence of meteorological elements on summer vegetation coverage in north China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2022, 46(1): 27-39.]

[6] 李玉朋, 陈亚宁, 叶朝霞, 等. 塔里木河下游输水20 a的生态响应[J]. 干旱区地理, 2021, 44(3): 700-707. [Li Yupeng, Chen Yaning, Ye Zhaoxia, et al. Ecological responses of ecological water conveyance in the lower reaches of Tarim River for 20 years[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(3): 700-707.]

[7] Sun F, Wang Y, Chen Y N, et al. Historic and simulated desert-oasis ecotone changes in the arid Tarim River Basin, China[J]. Remote Sensing, 2021, 13(4): 647, doi: 10.3390/rs13040647.

[8] 刘明霞, 刘友存, 陈明, 等. 2000—2018年赣江上游植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 284-290. [Liu Mingxia, Liu Youcun, Chen Ming, et al. Spatiotemporal evolution of vegetation coverage and its response to climate change in upper reaches of Ganjiang River Basin during 2000—2018[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 284-290.]

[9] 庞家泰, 段金亮, 张瑞, 等. 2000—2019年渭河流域植被覆盖度时空演变特征及气候响应[J]. 水土保持研究, 2021, 28(5): 230-237. [Pang Jiatai, Duan Jinliang, Zhang Rui, et al. Characteristics of spatiotemporal evolution and climate response of vegetation cover in the Wei River Basin from 2000 to 2019[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(5): 230-237.]

[10] Jiapaer G, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(12): 1698-1710.

[11] Zhang J R, Zhang Z T, Chen J Y, et al. Estimating soil salinity

with different fractional vegetation cover using remote sensing[J]. Land Degradation & Development, 2021, 32(2): 597–612.

[12] 曹永香, 毛东雷, 薛杰, 等. 绿洲–沙漠过渡带植被覆盖动态变化及其驱动因素——以新疆策勒为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 1–13. [Cao Yongxiang, Mao Donglei, Xue Jie, et al. Dynamic changes and driving factors of vegetation cover in the oasis-desert ecotone: A case study of Cele, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(2): 1–13.]

[13] Liu Y, Li L H, Chen X, et al. Temporal-spatial variations and influencing factors of vegetation cover in Xinjiang from 1982 to 2013 based on GIMMS-NDVI$_{3g}$[J]. Global and Planetary Change, 2018, 169: 145–155.

[14] 庞冉, 王文. 基于MODIS数据的吐鲁番盆地2001—2017年植被变化及水热组合影响分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(5): 1242–1252. [Pang Ran, Wang Wen. Analysis of vegetation index changes and the influence of hydrothermal combination in the Turpan Basin from 2001 to 2017 based on MODIS data[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(5): 1242–1252.]

[15]《塔什库尔干塔吉克自治县概况》编写组. 塔什库尔干塔吉克自治县概况[M]. 北京: 民族出版社, 2009. [General situation of Taxkorgan Tajik Autonomous County of prepared by the compilation team. General situation of Taxkorgan Tajik Autonomous County[M]. Beijing: The Ethnic Publishing House, 2009.]

[16] 董璐, 赵杰, 刘雪佳, 等. 1982—2015年新疆地区植被生长对气温的响应[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2165–2170. [Dong Lu, Zhao Jie, Liu Xuejia, et al. Responses of vegetation growth to temperature during 1982—2015 in Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(7): 2165–2170.]

[17] 孙天瑶, 李雪梅, 许民, 等. 2000—2018年塔里木河流域植被覆盖时空格局[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 415–424. [Sun Tianyao, Li Xuemei, Xu Min, et al. Spatial-temporal variations of vegetation coverage in the Tarim River Basin from 2000 to 2018[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(2): 415–424.]

[18] 马晓妮, 任宗萍, 谢梦瑶, 等. 基于地理探测器的砒砂岩区植被覆盖度环境驱动因子量化分析[J]. 生态学报, 2022, 42(8): 3389–3399. [Ma Xiaoni, Ren Zongping, Xie Mengyao, et al. Quantitative analysis of environmental driving factors of vegetation coverage in the Pisha sandstone area based on geodetector[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(8): 3389–3399.]

[19] 阿多, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 1981—2013华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 576–592. [A Duo, Zhao Wenji, Gong Zhaoning, et al. Temporal analysis of climate change and its relationship with vegetation cover on the north China plain from 1981 to 2013[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 576–592.]

[20] 崔利芳, 王伦澈, 屈赛, 等. 气温、降水量和人类活动对长江流域植被NDVI的影响[J]. 地球科学, 2020, 45(6): 1905–1917. [Cui Lifang, Wang Lunche, Qu Sai, et al. Impacts of temperature, precipitation and human activity on vegetation NDVI in Yangtze River Basin, China[J]. Earth Science, 2020, 45(6): 1905–1917.]

[21] 孙帆, 王弋, 陈亚宁. 塔里木盆地荒漠–绿洲过渡带动态变化及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3397–3407. [Sun Fan, Wang Yi, Chen Yaning. Dynamic changes of the desert-oasis ecotone and its influencing factors in Tarim Basin[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(10): 3397–3407.]

[22] 李梓钰, 陈启慧, 黄峰, 等. 吐鲁番盆地骆驼刺保护区植被覆盖度时空演变[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1104–1110. [Li Ziyu, Chen Qihui, Huang Feng, et al. Spatiotemporal evolution of vegetation coverage in *Alhagi sparsifolia* reserve in Turpan Basin, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 1104–1110.]

[23] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295–1304. [Chen Yaning, Li Zhi, Fan Yuting, et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of northwest China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(9): 1295–1304.]

[24] 魏彦强, 芦海燕, 王金牛, 等. 近35年青藏高原植被带变化对气候变化及人类活动的响应[J]. 草业科学, 2019, 36(4): 1163–1176. [Wei Yanqiang, Lu Haiyan, Wang Jinniu, et al. Responses of vegetation zones, in the Qinghai-Tibetan Plateau, to climate change and anthropogenic influences over the last 35 years[J]. Pratacultural Science, 2019, 36(4): 1163–1176.]

[25] 孙笑冰. 新疆塔什库尔干塔吉克自治县牧区经济发展的调查与思考[J]. 实事求是, 2015(4): 101–104. [Sun Xiaobing. Investigation and reflection on the economic development of pastoral areas in Tajik Autonomous County of Taxkorgan, Xinjiang[J]. Seek Truth From Facts, 2015(4): 101–104.]

[26] 张青青, 徐海量, 樊自立. 玛纳斯河流域人工绿洲扩张对社会经济和生态环境的影响分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 863–871. [Zhang Qingqing, Xu Hailiang, Fan Zili. Effect of artificial oasis expansion on social economy and ecological environment in Manas River Basin, Xinjiang of China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 863–871.]

[27] 刘洋洋, 任涵玉, 章钊颖, 等. 中国草地覆盖度时空动态格局及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 221–230. [Liu Yangyang, Ren Hanyu, Zhang Zhaoying, et al. Temporal and spatial dynamic pattern of grassland coverage and its influencing factors in China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 221–230.]

[28] Fujii H, Koike T, Imaoka K. Improvement of the AMSR-E algorithm for soil moisture estimation by introducing a fractional vegetation coverage dataset derived from MODIS data[J]. Journal of the Remote Sensing Society of Japan, 2009, 29(1): 282–292.

Temporal and spatial characteristics of fractional vegetation coverage and its response to climatic factors in southern Xinjiang in recent 20 years: A case of Taxkorgan Tajik Autonomous County

LIU Yuting[1], ZHANG Qifei[2,3], LIU Jingshi[1,4], GUAN Hanxiao[1], MENG Fanxue[5]

(1. School of Life and Geography, Kashi University/Key Laboratory of Biological Resources and Ecology of Pamirs Plateau in Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashi 844000, Xinjiang, China; 2. School of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Taiyuan 030000, Shanxi, China; 3. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 4. Institute of Tibet Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 5. Kashi Regional Meteorological Bureau, Kashi 844000, Xinjiang, China)

Abstract: Fractional vegetation coverage (FVC) is an evaluation index that reflects the quality of the ecological environment. Understanding changes in fractional vegetation coverage is a critical part of developing a more ecological civilization, as well as regional agriculture, animal husbandry planning, and environmental protection. Based on the normalized difference vegetation index from 2001 to 2020, and taking into consideration the types of vegetation on cultivated land, forested land, and grassland, the mixed pixel dichotomy model is used to calculate fractional vegetation coverage. The spatial and temporal characteristics of fractional vegetation coverage in Taxkorgan Tajik Autonomous County of Xinjiang, China are analyzed using methods of spatial stability analysis, Sen+Mann-Kendall spatial trend analysis and linear regression. At the same time, combined with temperature and precipitation data, the impact of climate factors on FVC is analyzed using Spearman correlation analysis and GIS spatial analysis. The results showed that (1) over the past 20 years, fractional vegetation coverage was concentrated in the middle fractional vegetation coverage area, and fractional vegetation coverage decreased by 4.79%. (2) The spatial stability of fractional vegetation coverage fluctuated slightly, with fluctuations (37.3%) and moderate fluctuations (32.7%); The fractional vegetation coverage decreased both significantly and not significantly, with decreases of 3.8% and 54.5% of the total area, respectively. (3) The vegetation status of cultivated land, forested land, and grassland showed slight, varying degrees of degradation. Fractional vegetation coverage decreased by 4.57%, 6.32%, and 4.24% respectively. In terms of spatial stability values, which were 51.28%, 54.48%, and 52.29%, respectively, there was no significant reduction. (4) From 2001 to 2020, degrees of spatial stability and degradation on cultivated land were slower and more stable than on forested land and grassland, and forested land saw more significant degradation than cultivated land and grassland. Changes in fractional vegetation coverage observed in the study area were small and showed a slight downward trend. Human activity was the main contributing factor affecting vegetation growth.

Key words: dimidiate pixel model; fractional vegetation coverage (FVC); Sen+Mann-Kendall; spatial stability; climate factors